

SLANT TYPE SHORT PERIOD GRATING

Patent Number: JP2002082236
Publication date: 2002-03-22
Inventor(s): KOJIMA REIKO; SUDO MASAOKI; OKUDE SATOSHI; NISHIDE KENJI; WADA AKIRA
Applicant(s): FUJIKURA LTD
Requested Patent: ☐ JP2002082236
Application Number: JP20010183236 20010618
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B6/10; G02B6/16
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a short period grating provided with a smooth spectrum characteristic without easily generating fine ripple.

SOLUTION: In the slant type short period grating forming a grating part 3 whose refractive index is changed at a prescribed slant angle in a prescribed period along the longitudinal direction on both or either one of a core 1 and a clad 2 formed on the periphery of the core 1, a 1st coat layer consisting of plastic having a refractive index more than -5% refractive index of the clad 2 is formed on the clad 2.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-82236

(P2002-82236A)

(43) 公開日 平成14年3月22日 (2002.3.22)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード*(参考)

G 0 2 B 6/10

G 0 2 B 6/10

C 2 H 0 5 0

6/16

6/16

審査請求 有 請求項の数11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-183236(P2001-183236)

(22) 出願日 平成13年6月18日(2001.6.18)

(31) 優先権主張番号 特願2000-183795(P2000-183795)

(32) 優先日 平成12年6月19日(2000.6.19)

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 小島 玲子

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ

クラ佐倉事業所内

(72) 発明者 須藤 正明

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ

クラ佐倉事業所内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

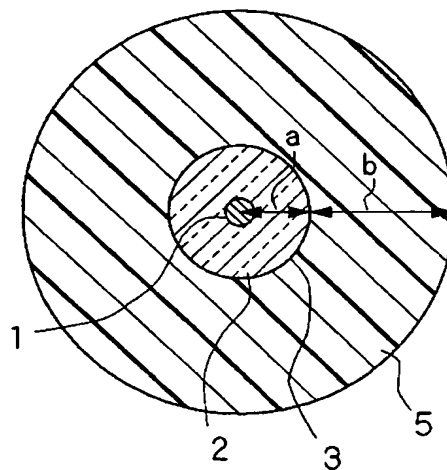
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スラント型短周期グレーティング

(57) 【要約】

【課題】 微小リップルが生じにくく、滑らかなスペクトル特性を備えた短周期グレーティングを提供することを課題とする。

【解決手段】 コア1と、その周囲に形成されたクラッド2の両方あるいは一方に、長さ方向にそって所定の周期で所定のスラント角度をもって屈折率を変化させたグレーティング部3を形成したスラント型短周期グレーティングにおいて、前記クラッド2の上に、該クラッド2の屈折率よりも-5%の屈折率の値以上の屈折率を有するプラスチックからなる第1の被覆層を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コアとその周囲に形成されたクラッドとからなる光ファイバに、該コアと該クラッドの一方あるいは両方の屈折率を、当該光ファイバの長さ方向にそって所定周期で所定のスラント角度をもって変化させたグレーティング部が形成されたスラント型短周期グレーティングにおいて、

前記グレーティング部が形成された部分のクラッドの上に、当該クラッドの屈折率の -5% の屈折率の値以上の屈折率を有するプラスチックからなる第 1 の被覆層が設けられていることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 2】 前記第 1 の被覆層の厚さが $50\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載のスラント型短周期グレーティング。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記第 1 の被覆層を形成するプラスチックのヤング率が 100MPa 以下であることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 4】 請求項 1～3 のいずれか一項に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記第 1 の被覆層の周囲に、該第 1 の被覆層よりも耐水性または耐湿性の高い第 2 の被覆層が設けられていることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 5】 請求項 1～4 のいずれか一項に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、補強材内に収められていることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 6】 請求項 5 に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記補強材内壁と前記第 1 の被覆層または前記第 2 の被覆層の外表面との間に空間が設けられていること特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 7】 請求項 5 または 6 に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、補強材の内部に充填されたプラスチックによって前記第 1 の被覆層が形成されていることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 8】 請求項 5～7 のいずれか一項に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記補強材の内部にグレーティング部を形成した光ファイバを収め、該光ファイバを該補強材に固定した後、該補強材の内部にプラスチックを充填して前記第 1 の被覆層を形成したものであることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 9】 請求項 5～8 のいずれか一項に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記補強材の線膨張係数が前記クラッドと同程度であることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【請求項 10】 前記補強材が石英系ガラスからなるこ

とを特徴とする請求項 5～9 のいずれか一項に記載のスラント型短周期グレーティング。

【請求項 11】 請求項 5～10 のいずれか一項に記載のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記補強材が光ファイバを収める凹部を備えた第 1 の部材と、該凹部の開口部を覆う第 2 の部材とからなることを特徴とするスラント型短周期グレーティング。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信分野などにおいて、光フィルタなどとして用いられるスラント型短周期グレーティングに関する。

【0002】

【従来の技術】 長距離光通信においては、光ファイバを伝送することによって減衰した光信号を伝送途中で光増幅器を用いて増幅している。光増幅器としては、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (Erbium doped fiber amplifier、以下、EDFA と略記する) が一般的に用いられている。図 16 は光通信システムの一例を示したものであって、伝送路 (光ファイバ) の両端部に送信機と受信器が設けられ、かつ途中には増幅器が挿入されている。しかし、図 17 に示した様に、EDFA は利得の波長依存性を有するため、そのままでは、増幅した光信号の強度が波長によってばらつくことになる。これは、特に波長多重伝送などにおいて不都合である。そこで、光通信システムにおいては、図 18 に示した様に、EDFA と利得等化器 (Gain equalizer 以下、GEQ と略記する) とを組み合わせるにより、利得を平坦化する様にした光増幅器が用いられている。なお、図 19 は、例えば図 18 に示した光増幅器を用いた波長多重伝送システムの構成例を示したものである。図中に示された MUX は光合波器、D-MUX は光分波器である。ここで、図 18 に示した GEQ は透過型の光フィルタであり、誘電体多層膜、エタロン板、光ファイバグレーティングなどを用いたものが例示される。光ファイバグレーティングには、長周期グレーティング (LPG) と短周期グレーティング (SPG) があり、GEQ としては長周期グレーティング (LPG-GEQ) が最も一般的に用いられている。

【0003】 図 20 は一般的な LPG の一例を示した側断面図であって、円柱状のコア 1 の外周上に、このコア 1 よりも低い屈折率を備えたクラッド 2 が、このコア 1 と同心円状に設けられて光ファイバが構成されている。このコア 1 の長さ方向の一部には、この光ファイバの長さ方向にそって、複数の高屈折率部 1a、1a…が所定の周期で間欠的に配列されたグレーティング部 3 が形成されている。高屈折率部 1a のコア 1 の長さ方向の両端面は、ほぼコア 1 の中心軸に直交している。図中に示した高屈折率部 1a の周期 Λ をグレーティング周期と呼ぶ。LPG のグレーティング周期は $200\sim 300\mu\text{m}$

程度である。そして、この長周期グレーティングに比較的広い波長域の光を入射すると、グレーティング部3において、所定の波長域の光が同方向に進行する前進クラッドモードと結合し、この波長域の光が損失した透過光が得られる。したがって、EDFAの増幅により、強度が大きくなる波長域の光をLPGにて選択的に損失させることによって、EDFAの利得を平坦化することができる。

【0004】LPGにおいては、信号波形の劣化の原因となる微小リップルが本質的に存在しないという利点がある。微小リップルとは、波長を横軸、透過率を縦軸にとった透過光のスペクトルにおける微小な損失変動のことである。そのため、スペクトルにおいては滑らかな曲線（滑らかなスペクトル特性）が得られる。その一方、以下のような欠点がある。

- 1) 温度依存性が大きく、例えば温度変化に伴う損失波長のシフト($\Delta\lambda$)が50 pm/℃程度と大きい。
- 2) 透過特性の調整が困難で任意の透過特性を得難い。
- 3) 損失波長帯を狭くしようとすると、グレーティング部3の長さ(グレーティング部の長さ)が例えば最長10 cm程度になってしまう。

【0005】図21は、一般的なSPGの一例を示した側断面図である。図20に示したLPGと異なるのはグレーティング周期 Λ である。SPGのグレーティング周期は例えば0.1~1 μ mと短い。SPGの場合はLPGと異なり、グレーティング部3において、所定波長域の光が反射され、その結果、この波長域の光が損失した透過光が得られる。SPGにおいては、グレーティング周期や高屈折率部1aの屈折率変化量などの他、グレーティング周期 Λ をグレーティング部3の長さ方向にそって徐々に拡大、あるいは縮小させるなどして変化させるチャープグレーティングを適用することによって、損失光の波長域を広くしたり、損失光の強度を調整することができ、比較的自由に任意の透過特性を実現することができる。また、SPGは、温度依存性が小さい(例えば $\Delta\lambda$ が12 pm/℃程度)という利点を有している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、SPGにおいては、反射光がコア1を逆行するため、グレーティング部3において、例えばひとつの高屈折率部1aにて反射した光が、さらに他の高屈折率部1aにおいて入射光と同方向に反射し、このような反射を繰り返す多重反射を生じる。その結果、透過光のスペクトルにおいて0.01~0.05 nm程度の周期で微小リップルが生じ、滑らかなスペクトル特性が得られないという問題がある。そこで、最近では、SPGの設計の自由度と温度安定性を生かし、さらに微小リップルが生じにくいスラント型SPGの開発が進められている。

【0007】図22はスラント型SPGの一例を示した側断面図であって、図21に示した通常のSPGと異な

るのは高屈折率部1aのコア1の長さ方向における両端面が、コア1の中心軸に対して直交せず、所望の角度をもって斜めに形成されている点である。高屈折率部1aの端面に直交する線の方法をグレーティング方向という。そして、このグレーティング方向とコア1の中心軸との角度 θ によって、高屈折率部1aの傾きの大きさを表す。この角度を「スラント角度」という。すなわち、通常のSPGは、グレーティング方向がコア1の中心軸と一致しており、スラント角度 θ はゼロであるが、スラント型SPGにおいては、特に限定するものではないが、 θ が0.5~8度程度に設定され、斜めになっている。

【0008】その結果、高屈折率部1aによって反射された光はクラッド2に放射され、コア1を逆行しないため、多重反射が生じにくくなる。そして、透過光のスペクトルにおいて得られる微小リップルの大きさを、例えば0.1~0.2 dB程度と小さくすることができ、一般的なSPGよりも滑らかなスペクトル特性を得ることができる。しかしながら、従来は、スラント型SPGであっても微小リップルの抑制は十分ではなく、さらに滑らかなスペクトル特性を有するSPGが要望されていた。

【0009】スラント型SPGにおける微小リップルの発生は、例えばコアからクラッドに放射された光が再びコアに結合することが原因のひとつであると考えられる。そこで、スラント型SPGをマッチングオイルに浸すことにより、微小リップルを低減する方法が知られている。

【0010】図23はスラント型SPGにおいて、クラッドの周囲が空気の場合、図24はクラッドよりも低い屈折率のマッチングオイル(屈折率1.4)に浸した場合、図25はクラッドと同程度の屈折率を備えたマッチングオイル(屈折率1.46)に浸した場合、図26はクラッドよりも高い屈折率のマッチングオイル(屈折率1.5)に浸した場合の透過光のスペクトルを示したものである。なお、この例においては、コアの半径は4 μ m、クラッドの半径(クラッドの外径の1/2)は62.5 μ m、グレーティング周期 Λ は531.4~546.8 nm、 θ は4.3度、グレーティング長は45 mmとした。また、コアはゲルマニウムを添加した石英ガラス(屈折率1.466)、クラッドは純粋石英ガラス(屈折率1.46)から形成している。

【0011】図23~図26に示した透過光のスペクトルより、微小リップルを効果的に減少させるためには、クラッドが接触しているクラッドの周囲の物質の屈折率が重要である。具体的にはクラッドと同程度か、それ以上の屈折率を備えている必要がある。しかし、マッチングオイルは液体であるため、長期的な安定性を確保することができなかった。また、クラッドの屈折率とマッチングオイルの屈折率とを完全に整合させるのも困難であ

り、最適な条件を実現することができない場合があった。

【0012】本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、微小リップルが生じにくく、滑らかなスペクトル特性を備えたSPGを提供することを課題とする。さらには、微小リップルの低減効果を長期的に安定に維持することができるSPGを提供することを目的とする。また、微小リップルを十分に低減できる条件を容易に設定することができるSPGを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため、第1の発明は、コアとその周囲に形成されたクラッドとからなる光ファイバに、該コアと該クラッドの一方あるいは両方の屈折率を、当該光ファイバの長さ方向にそって所定周期で所定のスラント角度をもって変化させたグレーティング部が形成されたスラント型短周期グレーティングにおいて、前記グレーティング部が形成された部分のクラッドの上に、屈折率を有するプラスチックからなる第1の被覆層が設けられていることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第2の発明は、前記第1の被覆層の厚さが $50\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする第1の発明のスラント型短周期グレーティングである。第3の発明は、第1の発明または第2の発明のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記第1の被覆層を形成するプラスチックのヤング率が 100MPa 以下であることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第4の発明は、第1～3の発明のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記第1の被覆層の周囲に、該第1の被覆層よりも耐水性または耐湿性の高い第2の被覆層が設けられていることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第5の発明は、第1～4のいずれかひとつの発明のスラント型短周期グレーティングにおいて、補強材内に収められていることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第6の発明は、第5の発明のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記補強材内壁と前記第1の被覆層または前記第2の被覆層との間に、空間が設けられていること特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第7の発明は、第5の発明または第6の発明のスラント型短周期グレーティングにおいて、補強材の内部に充填されたプラスチックによって前記第1の被覆層が形成されていることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第8の発明は、第5～7の発明のいずれかひとつの発明のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記補強材の内部にグレーティング部を形成した光ファイバを収め、該光ファイバを該補強材に固定した後、該補強材の内部にプラスチックを充填して前記第1の被覆層を形成したものであることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第9の発明は、第5～8の発明のいずれかひとつの発明のスラント

型短周期グレーティングにおいて、前記補強材の線膨張係数がクラッドと同程度であることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。第10の発明は、前記補強材が石英系ガラスからなることを特徴とする第5～9の発明のいずれかひとつの発明のスラント型短周期グレーティングである。第11の発明は、第5～10のいずれかひとつの発明のスラント型短周期グレーティングにおいて、前記補強材が光ファイバを収める凹部を備えた第1の部材と、該凹部の開口部を覆う第2の部材とからなることを特徴とするスラント型短周期グレーティングである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の検討の経緯を追って、本発明について詳細に説明する。本発明のスラント型SPGは、例えば図22に示したスラント型SPGにおいて、図1に示した様に、グレーティング部3が形成された部分の光ファイバのクラッド2の外周上の全体に、クラッド2の屈折率の -5% の屈折率の値以上の屈折率を備えたプラスチックからなる第1の被覆層5が設けられたものである。第1の被覆層5は、グレーティング部3が形成されている部分のクラッド2の外周全体を覆う様に設けられていることが好ましい。このように第1の被覆層5が設けられていることにより、クラッド2から放射した光が第1の被覆層5に吸収され、再びコア1に戻ることを防止することができる。その結果、微小リップルを減少させることができる。図中符号aはクラッド2の半径、bは第1の被覆層5の厚さである。また、プラスチックからなる第1の被覆層5は長期的に安定である。さらに、組成を変更することによって種々の屈折率が得られるため、第1の被覆層5の屈折率とクラッド2の屈折率とを整合させることが容易である。したがって、上述の様なマッチングオイルを用いた場合よりもはるかに長期安定性に優れ、かつ優れたスペクトル特性が得られる。

【0015】第1の被覆層5を構成するプラスチックの屈折率の下限値は、クラッドの屈折率を基準にして、その -5% 程度の屈折率である。したがって、クラッドの屈折率を 100% としたとき、その 95% に該当する屈折率以上の屈折率を備えているプラスチックであれば使用することができる。プラスチックからなる第1の被覆層5の屈折率の上限値は特に限定するものではないが、クラッドの屈折率に対して 5% 程度（クラッドの屈折率を 100% としたとき、 105% にあたる屈折率の値程度）であると好ましい。屈折率が大きくなりすぎるとクラッドに放射された光が再びコアに結合しやすくなるからである。具体的には例えばクラッドが純粋石英ガラス（屈折率 1.46 ）からなる場合は 1.38 以上、好ましくは $1.46\sim 1.55$ 程度の屈折率のプラスチックを用いると好ましい。第1の被覆層を形成するプラスチックとしては、例えばエポキシ系樹脂、アクリル系樹

脂、シリコン樹脂などを例示することができ、中でもエポキシ系樹脂などが好ましい。具体的にはデソライト社製 R1000シリーズなどが好適である。

【0016】図2～図5は、コアにグレーティング部を形成したスラント型SPGにおいて、屈折率1.46のクラッドの上に、屈折率1.48、ヤング率1.4MPaのエポキシ系樹脂からなる第1の被覆層を設け、その厚さを变化させたときの透過光のスペクトルを示したものである。図2は、第1の被覆層を設けない場合（クラッドの周囲が空気の場合）、図3は第1の被覆層の厚さbが62.5 μ mの場合、図4は第1の被覆層の厚さbが150 μ mの場合、図5は第1の被覆層の厚さbが200 μ mの場合である。なお、その他の具体的な条件は上述のマッチングオイルを用いた例と同様とした。図2～図5に示したグラフより、第1の被覆層を設けることにより、微小リップルが減少することが明らかである。第1の被覆層の厚さは50 μ m以上であることが好ましい。50 μ m未満では、微小リップルの減少効果が不充分となるおそれがある。また、第1の被覆層の厚さbは大きい程好ましく、特に200 μ m以上とすることにより、微小リップルを殆ど消失させることができる。なお、第1の被覆層の厚さbの上限値は特に限定しないが、例えばスペース小効率、効果の飽和、製造性などの点から500 μ mとされる。

【0017】また、第1の被覆層5を設けると、第1の被覆層5を設ける前と比較して、透過スペクトルの変形が生じたり、反射される光の波長がシフトするなどして、スラント型SPGの光学特性が変化する場合がある。また、第1の被覆層5を設けた後に、環境温度変化によって同様の現象が生じ、スラント型SPGの温度特性が劣化する場合がある。これらは第1の被覆層5を形成するプラスチックの線膨張係数と硬化収縮率の影響によるものである。

【0018】コア1およびクラッド2の材料は、一般に純粋石英ガラス、あるいは純粋石英ガラスにゲルマニウム、フッ素などのドーパントを添加した石英ガラス（以下、これらをまとめて石英系ガラスという）が用いられる。プラスチックの線膨張係数は、通常、石英系ガラスの線膨張係数よりも大きい。したがって、環境温度変化によって、コア1およびクラッド2よりも第1の被覆層5が大きく膨張、収縮することにより、主にグレーティング部3に応力が印加され、光学特性が変化する。

【0019】また、硬化収縮率が高いプラスチックを用いると、第1の被覆層5を形成する際に、硬化前のプラスチックをクラッド2の上に塗布し、このプラスチックが硬化する過程で収縮することにより、グレーティング部3などに歪みが生じ、上述のような光学特性の変化が生じる。したがって、第1の被覆層5を設けるにおいては、屈折率のみならず、これらの影響を考慮し、最適な材料を選択しなければならない。

【0020】図6～図9は、ヤング率の異なるプラスチックからなる第1の被覆層を設けた場合の透過光のスペクトルを示したものである。図6はヤング率0.1MPaの場合である。図7はヤング率20MPa、図8はヤング率500MPa、図9ヤング率1000MPaの場合である。図6に示した結果の測定においては、コアの半径は4 μ m、クラッドの半径は62.5 μ m、グレーティング周期は531.4～546.8nmのチャープトピッチ、 θ は3度、グレーティング長は40mmとした。また、被覆層の厚さは200 μ mとした。なおチャープトピッチは光ファイバの長さ方向において、グレーティング周期を徐々に変化させたものである。また、コアはゲルマニウムを添加した石英ガラス（屈折率1.466）、クラッドは純粋石英ガラス（屈折率1.46）から形成している。図7～図9に示した結果の測定においては、コアの半径、クラッドの半径、グレーティング周期、 θ 、グレーティング長、コアの材料、およびクラッドの材料は、図2～図5に示した測定例と同様とした。また、被覆層の厚さは200 μ mとした。また、ヤング率0.1MPaのプラスチックは商品名：TB3018（Three Bond社製）を用いた。また、ヤング率20MPaのプラスチックは商品名：950Y200F（デソライト社製）、100MPaのプラスチックは商品名：AT9576（NTTアドバンテックテクノロジー社製）、500MPaのプラスチックは商品名：950Y100F（デソライト社製）を用いた。ヤング率の大きなプラスチックを用いた場合には、図8に示したように、損失ピークの頂点付近に歪みが生じている。

【0021】これらの結果より、第1の被覆層を構成するプラスチックは柔らかい方が好ましく、ヤング率100MPa以下であることが好ましいことが明らかである。なお、これらのスラント型SPGについて、環境温度を-40～100℃の間で変化させて光学特性の変化を観察すると、ヤング率100MPa以下のプラスチックを用いたものについては大きな変化はなく、ヤング率500MPaのプラスチックを用いたものについては、損失ピークの波長シフト量が大きく、温度依存性が高い。また、ヤング率の下限値は特に限定せず、ゲル状や液体状にならず、固体状に硬化するプラスチックであれば制限なく用いることができる。なお、長期的な安定性を確保するためには、ヤング率の下限値は0.1MPa、好ましくは1MPaとされる。

【0022】スラント型SPGは、例えばフォトリフラクティブ効果を利用して製造することができる。フォトリフラクティブ効果とは、光感受性のドーパントを添加した石英系ガラスに特定の波長の光を照射すると石英系ガラスの屈折率が変化する現象のことである。光感受性のドーパントとして一般に用いられているのがゲルマニウムであって、ゲルマニウム添加石英ガラスに240n

m付近の紫外光を照射すると、その屈折率が上昇する。なお、図22に示した例においては、コアにグレーティング部が形成された構成となっているが、コアとクラッドの両方、あるいはクラッドのみの屈折率を、光ファイバの長さ方向に所定の周期で所定のスラント角度 θ をもって変化させたグレーティング部を形成したスラント型SPGであってもよい。コアにグレーティング部を形成する場合はコアを光感受性のドーパントを添加した石英ガラスから形成し、クラッドにグレーティング部を形成する場合はクラッドを光感受性のドーパントを添加した石英ガラスから形成し、コアとクラッドの両方にグレーティング部を形成する場合はこれらの両方を光感受性のドーパントを添加した石英ガラスから形成する。

【0023】なお、光感受性のドーパントとして一般に用いられるゲルマニウムは、添加したのみで石英ガラスの屈折率を上昇させる特性をもつ。コアとクラッドの屈折率は、必要に応じて屈折率を上昇させる特性をもつアルミニウムやリン、または屈折率を下降させる特性をもつフッ素、ホウ素などを添加して調整すると好ましい。また、クラッドにグレーティング部を形成する場合は、クラッドを2層以上から形成し、このクラッドのコアに隣接する層にのみグレーティング部を形成することもできる。

【0024】具体的には、例えば以下のような操作によってスラント型SPGを製造する。すなわち、グレーティング部を形成する部分が光感受性のドーパントを添加した石英ガラスからなる裸光ファイバ（光ファイバ）の上に、紫外線硬化型プラスチックなどからなる保護被覆層が設けられた光ファイバ素線を用意する。なお、さらにナイロンなどからなる被覆層が設けられた光ファイバ心線などを用いることもできる。そして、その長さ方向の一部の保護被覆層を除去してクラッドを露出させる。ついで、このクラッドを露出した部分に、回折格子を備えた位相マスクを介して、エキシマレーザなどから特定波長の光を照射すると、光感受性のドーパントが添加された石英ガラスからなり、かつ光が照射された部分の屈折率が上昇し、グレーティング部が形成される。

【0025】このようにクラッドを露出させて加工する光デバイスは、機械的な強度を確保するため、補強材内に収めた状態で用いると好ましい。図10(a)～図10(c)は、光ファイバグレーティングなどの補強材として一般的な円筒管を用いた例を示したものである。円筒管はその長さ方向に平行に2分割され、ふたつの対称形の半円筒管から構成されている。図10(a)、図10(b)はスラント型SPGを収める第1の半円筒管（第1の部材）の開口部から見た平面図、図10(c)は図10(a)、図10(b)に示したA-A'における断面図である。

【0026】以下、図10(a)に示した構造について、スラント型短周期グレーティングを補強材に収める

操作について説明する。図中符号10は光ファイバ素線であって、長さ方向の一部の保護被覆層11が剥離され、クラッド2が露出しており、この露出したクラッド2の内側のコア1にスラント短周期型のグレーティング部3が形成されている。ついで、第1の半円筒管12の凹部12aにクラッド2を収めた後、この凹部12aにプラスチックを充填して、クラッド2の外側と凹部12aの内壁との間に第1の被覆層13を形成する。この様にグレーティング部3を収める凹部12aを備えた第1の部材（第1の半円筒管12）を用いると、柔らかい第1の被覆層13を容易に形成することができ、また、デリケートなグレーティング部3を補強材に収める操作が容易であり、好ましい。最後にこの第1の半円筒管12の開口部12bに、図11に示した様に、対称形のもうひとつの第2の半円筒管（第2の部材）14を被せて、これら第1の半円筒管12と第2の半円筒管14とを、接着剤などで固定してパイプ状とする。この様に第1の部材（第1の半円筒管12）と同様に凹部を備えた第2の部材（第2の半円筒管14）を用いると、後述する空間15を容易に形成することができ、好ましい。

【0027】ここで、クラッド2の外径は一般に100 μ m以上、実質的には120～130 μ m（通常は約125 μ m）であり、また、上述のように被覆層の厚さは、最も好ましくは200 μ m以上とする。したがって、第1の半円筒管12の内径cは、例えば500 μ m以上とし、200 μ m以上の被覆層をクラッド2の周囲全体に形成できるようにすると特に好ましい。第1の半円筒管12は、コア1およびクラッド2との線膨張係数の差が大きいとスラント型短周期グレーティングの温度特性を劣化させるため、線膨張係数がクラッドと同程度であると好ましい。ここで同程度とはクラッドの線膨張係数に対して±3%程度であることをいうものとする。具体的には、第1の半円筒管12は石英系ガラスから形成すると好ましい。なお、一般には、第2の半円筒管14も、第1の半円筒管12と同様の材料からなり、同様のサイズのものが用いられる。また、第1の半円筒管12、第2の半円筒管14の長さは特に限定しないが、露出させたクラッド2の長さよりも10～30mm程度長いと好ましい。

【0028】また、図11に示した様に、この構造においては、開口部12b側の第1の被覆層13の外側と、第2の半円筒管14の内壁との間に空間（隙間）15が形成されている。この様に、第1の被覆層13の外側と補強部材（第1の半円筒管12と第2の半円筒管14）の内壁との間に空間15が形成されていると、第1の被覆層13を構成するプラスチックが環境温度変化などの要因によって膨張、収縮しても、この空間15によってその影響が緩和され、グレーティング部3に直接的な応力がかかり難いため、さらに好ましい。空間15の範囲は特に限定しないが、図11に示した断面図において、

例えば、第1の被覆層13の断面積に対し、空間15の断面積が1〜3倍程度であると好ましい。図11に示した例において、これらの断面積はほぼ等しくなっている。1倍未満では十分な効果が得られないことがあったり、補強部材の形態によっては第2部材（第2の半円筒管14）を被せるときの作業性が低下する場合がある。3倍をこえると補強材の大きさが必要以上に大きくなるおそれがある。

【0029】また、この構造においては、光ファイバ素線の長さ方向の引っ張りに弱い傾向がある。例えば光ファイバ素線のうち、補強材の外部に位置する部分を、約500g程度の力で光ファイバ素線の長さ方向に引っ張ると、グレーティング部付近のクラッドとその周囲の第1の被覆層とが剥離してしまう場合がある。

【0030】そこで、図10(b)に示したように、第1の半円筒管12の凹部12aにクラッド2を露出させた部分を収め、クラッド2のグレーティング部3の両端部付近を接着剤16、16などの固定手段によって凹部12aの内壁に固定した後に、凹部12aにプラスチックを充填して第1の被覆層13を形成すると好ましい。接着剤16としては、例えばエポキシ樹脂（商品名：ワールドロック（協立化学社製））などを用いることができる。また、接着剤16、16による固定位置はグレーティング部3の両端部であって、グレーティング部3に接触しない範囲であることが好ましい。具体的には、例えばグレーティング部3の端部から1〜5mm程度離れた位置とする。

【0031】実際に、図10(a)に示した様に、コアの半径4 μ m、クラッド外径125 μ m（半径62.5 μ m）、保護被覆層の外径（光ファイバ素線の外径）250 μ mの光ファイバ素線を用い、50mmにわたって保護被覆層を剥離してクラッドを露出させ、グレーティング周期531.4〜546.8mm、 θ 4.3度、グレーティング長45mmのスラント型のグレーティング部を形成した。コアはゲルマニウム添加石英ガラス、クラッドは純粋石英ガラスから形成した。半円筒管は、内径650 μ m、長さ60mmの石英系ガラス製のものを用いた。また、半円筒管内に形成した第1の被覆層の材料は、屈折率1.48、ヤング率1.4MPaのエポキシ樹脂を用いた。この第1の被覆層の厚さは約200 μ mであった（実施例1）。

【0032】このスラント型短周期グレーティングについて、−40〜100℃の間で環境温度を変化させて温度特性を測定したところ、損失波長のシフト($\Delta\lambda$)は、半円筒管に収める前は0.0090nm/℃、半円筒管に収めて被覆層を形成した後も0.0090nm/℃であった。したがって、被覆層形成前後で光学特性が維持された。また、図10(b)に示した様に、グレーティング部3から2mmの位置を接着剤16、16にて固定した以外は図10(a)に示した例と同様の条件で

製造したスラント型短周期グレーティング（実施例2）は、約2kgの力で光ファイバ素線の長さ方向に引っ張っても、実施例1と比べて光学特性の変化はなく、かつ光ファイバ素線の破断やクラッド2と第1の被覆層13との剥離も生じなかった。

【0033】また、上述の様に第1の被覆層は、ヤング率の小さいプラスチックから形成することが好ましい。そのため、耐水性や耐湿性が劣る場合がある。そこで、図12に示した様に、少なくとも第1の被覆層5が空気と接触する外面の上に、この第1の被覆層5よりも耐水性または耐湿性に優れたプラスチックからなる第2の被覆層6を設けると好ましい。この例においては、第1の被覆層5の外周上全体に第2の被覆層6が設けられている。第2の被覆層6の厚さdは例えば30 μ m以上、好ましくは50〜500 μ mとされる。30 μ m未満では効果が得られず、500 μ mをこえると効果が飽和するおそれがある。第2の被覆層6を構成するプラスチックは、例えばエポキシ系樹脂、アクリル系樹脂、シリコン樹脂などを例示することができ、中でもエポキシ系樹脂などが好ましい。そして、第1の被覆層5を構成するプラスチックよりも「耐水性が高い」とは、ヤング率が第1の被覆層5に適したプラスチックよりも大きく、1MPa以上、好ましくは10〜500MPaであることを示す。具体的には製品名TB3052D（株式会社スリーボンド社製）などが好適である。

【0034】第2の被覆層は、上述の様に、少なくとも第1の被覆層が空気と接触する面に設けられていればよい。図11に示した補強材内に収めた構造においては、開口部12b側の空間15に接触する第1の被覆層13の外面のみが空気と接触しており、それ以外は、第1の半円筒管12の凹部12aの内壁と接触している。そこで、図13に示した様に、開口部12b側の第1の被覆層13の外面の上に、第2の被覆層17を設けた構成とすると好ましい。この場合、上述の様に、グレーティング部3を第1の半円筒管12の凹部12aに収めた後、当該凹部12aにプラスチックを充填し、第1の被覆層13を設けた後、さらに、開口部12b側に第2の被覆層17を構成するプラスチックを充填して第2の被覆層17を設けることができる。

【0035】図14は、上述の実施例1のスラント型SPGを、3時間水に浸漬した前後の透過スペクトルを測定した結果を示したグラフである。グラフ上方の滑らかな曲線が浸漬前、その下のがたつきのある曲線が浸漬後である。この様に、第1の被覆層の耐水性または耐湿性が低いと、高温、高温条件下や、浸水されたときに、例えば第1の被覆層がクラッドから剥離し、微小リップルの減少効果が維持できなくなるおそれがある。図15は、図13に示した様に、第2の被覆層を設けた場合の200時間水に浸漬した前後の透過スペクトルを測定した結果を示したグラフである。なお、ここで用いたスラ

ント型SPGは、ヤング率170MPaのエポキシ系樹脂からなり、厚さ70 μ mの第2の被覆層を形成した以外は、実施例1と同様の構成のものとした。グラフ上方の曲線が浸漬前、その下の曲線が浸漬後である。いずれも滑らかな曲線であり、微小リップルの減少効果が、浸漬後も維持されている。

【0036】なお、本発明はスラント型短周期グレーティングであれば特に制限なく適用することができる。適用するスラント型短周期グレーティングのグレーティング周期 Λ 、 θ 、グレーティング長などは特に限定せず、10 所望の特性によって任意に設定することができる。例えば、グレーティング周期は520～570nm、スラント角度は0.5～8度、グレーティング長は20～50mm程度である。また、グレーティング周期をコアの長さ方向に変化させたチャープトグレーティングを適用することもできる。また、補強材の形状は半円筒管を組み合わせた円筒管型に限定せず、外形が直方体などであってもよい。

【0037】

【発明の効果】以上説明したように本発明においては、20 プラスチックからなる第1の被覆層を設け、かつこの第1の被覆層を最適化することにより、微小リップルが生じにくく、滑らかなスペクトル特性を備え、かつ長期安定性に優れたスラント型短周期グレーティングを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のスラント型SPGの一例を示した断面図である。

【図2】 スラント型SPGに第1の被覆層を設けていない場合の透過スペクトルを示したグラフである。

【図3】 第1の被覆層を設けた場合のスラント型SPGの透過スペクトルを示したグラフである。

【図4】 第1の被覆層を設けた場合のスラント型SPGの透過スペクトルを示したグラフである。

【図5】 第1の被覆層を設けた場合のスラント型SPGの透過スペクトルを示したグラフである。

【図6】 第1の被覆層のヤング率の違いによる透過スペクトルの違いを示したグラフである。

【図7】 第1の被覆層のヤング率の違いによる透過スペクトルの違いを示したグラフである。

【図8】 第1の被覆層のヤング率の違いによる透過スペクトルの違いを示したグラフである。

【図9】 第1の被覆層のヤング率の違いによる透過スペクトルの違いを示したグラフである。

【図10】 図10(a)、図10(b)はスラント型SPGを補強材に収める操作例を示した平面図、図10(c)は、図10(a)、図10(b)に示したA-

A'における断面図である。

【図11】 第1の半円筒管(第1の部材)と第2の半円筒管(第2の部材)を一体化した状態を示した段面図である。

【図12】 第2の被覆層が設けられたスラント型SPGの一例を示した断面図である。

【図13】 第2の被覆層が設けられたスラント型SPGの他の例を示した断面図である。

【図14】 第2の被覆層が設けられていないスラント型SPGの浸水試験の結果を示したグラフである。

【図15】 第2の被覆層が設けられたスラント型SPGの浸水試験の結果を示したグラフである。

【図16】 光通信システムの一例を示した概略構成図である。

【図17】 エルビウム添加光ファイバ増幅器の動作を示した概略構成図である。

【図18】 エルビウム添加光ファイバ増幅器と利得等化器とを組み合わせた増幅器の構成を示した概略構成図である。

【図19】 例えば図18に示した光増幅器を用いた波長多重伝送システムの構成例を示した概略構成図である。

【図20】 一般的なLPGの一例を示した側断面図である。

【図21】 一般的なSPGの一例を示した側断面図である。

【図22】 スラント型SPGの一例を示した側断面図である。

【図23】 スラント型SPGにおいて、クラッドの周囲が空気の場合の透過光のスペクトルを示したグラフである。

【図24】 スラント型SPGにおいて、クラッドよりも低い屈折率のマッチングオイルに浸した場合の透過光のスペクトルを示したグラフである。

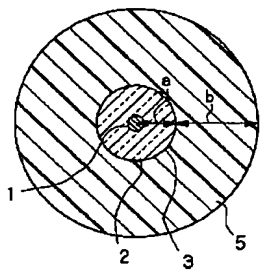
【図25】 スラント型SPGにおいて、クラッドと同程度の屈折率のマッチングオイルに浸した場合の透過光のスペクトルを示したグラフである。

【図26】 スラント型SPGにおいて、クラッドよりも高い屈折率のマッチングオイルに浸した場合の透過光のスペクトルを示したグラフである。

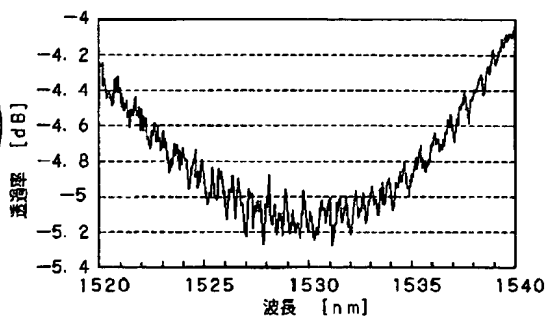
【符号の説明】

1…コア、1a…高屈折率部、2…クラッド、3…グレーティング部、5…第1の被覆層、6…第2の被覆層、12…第1の部材(半円筒管)、14…第2の部材(半円筒管)、17…第2の被覆層、b…第1の被覆層の厚さ、c…半円筒管の内径。

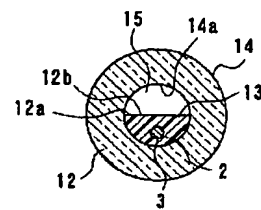
【図1】



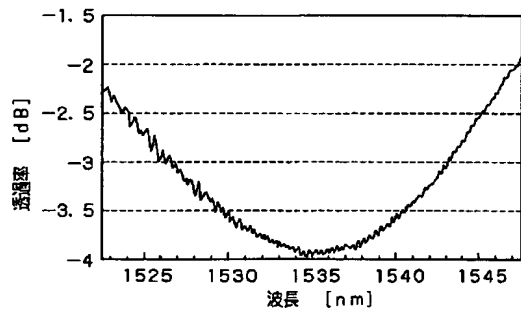
【図2】



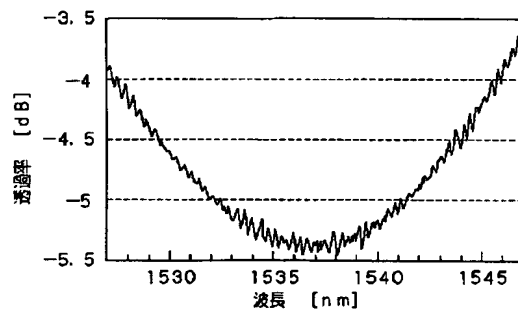
【図11】



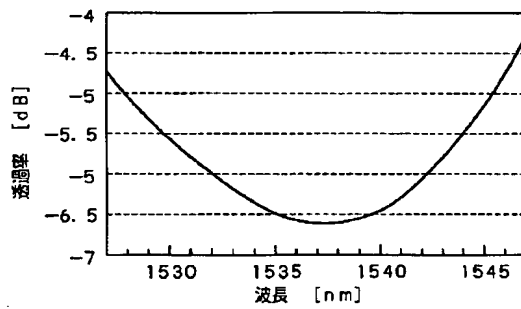
【図3】



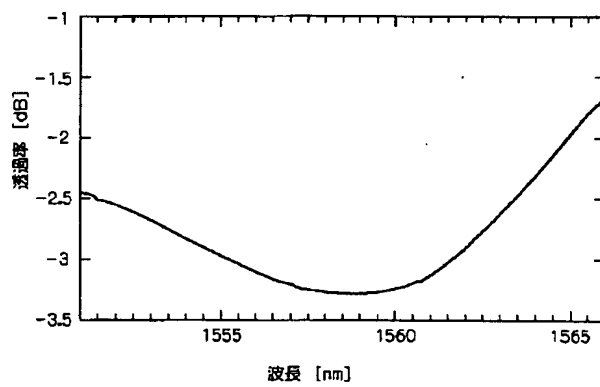
【図4】



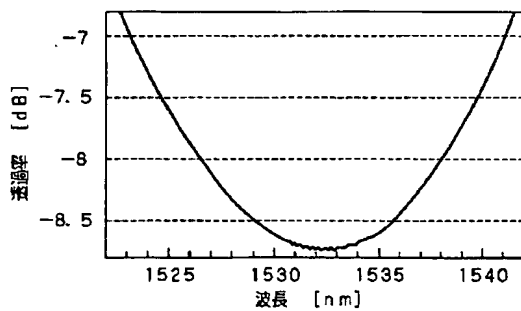
【図5】



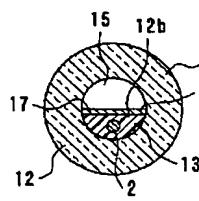
【図6】



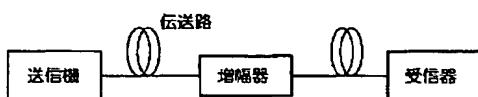
【図7】



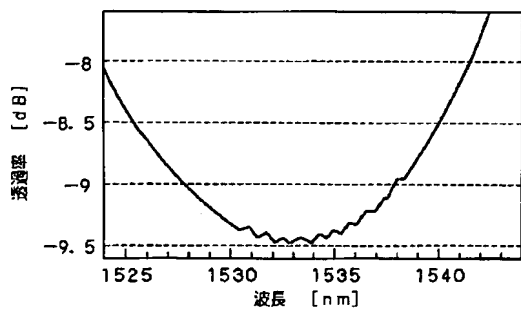
【図13】



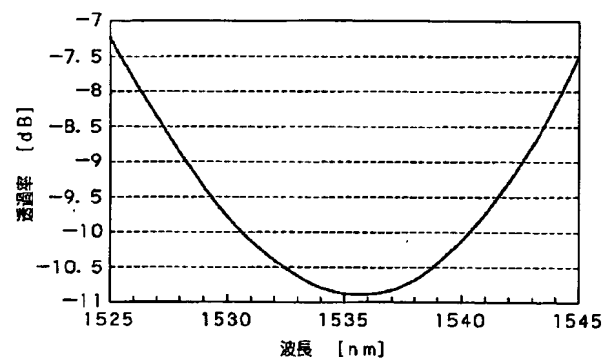
【図16】



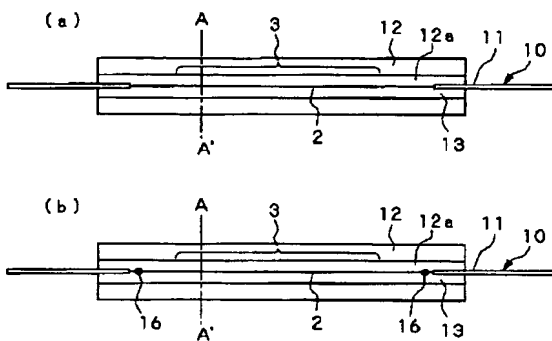
【図8】



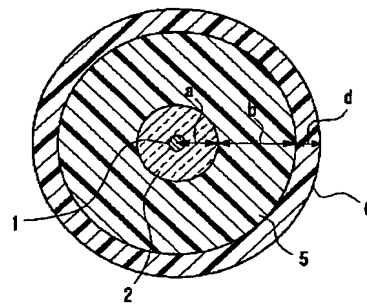
【図9】



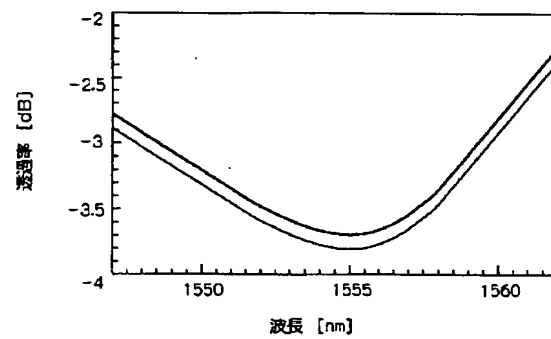
【図10】



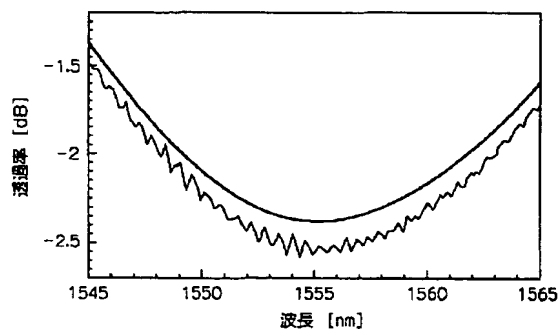
【図12】



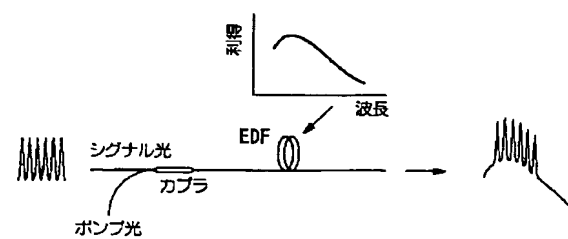
【図15】



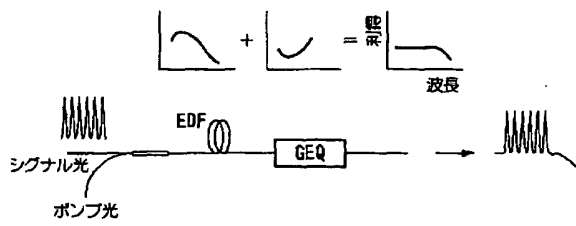
【図14】



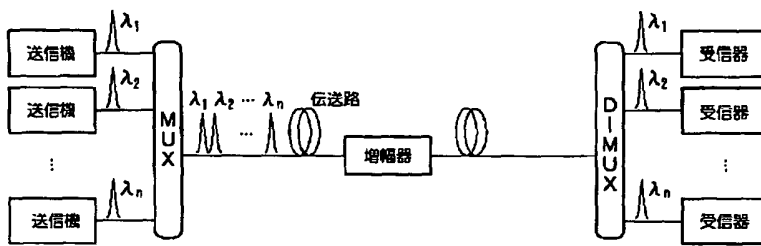
【図17】



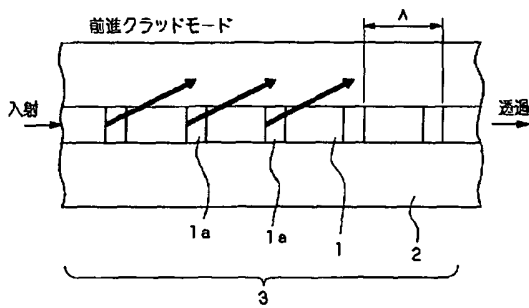
【図18】



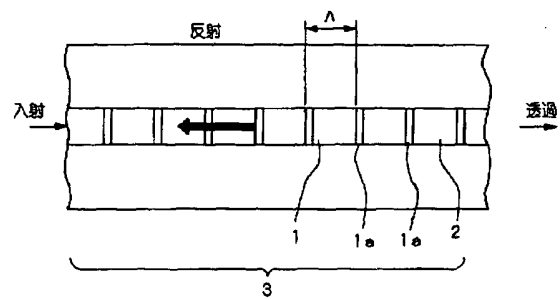
【図19】



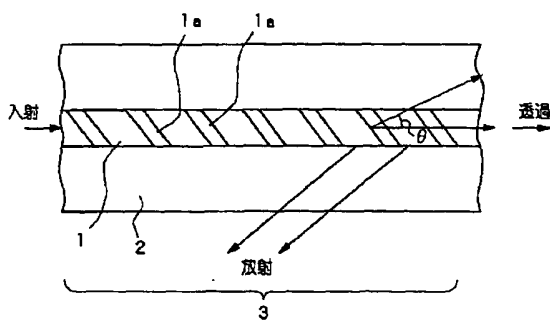
【図20】



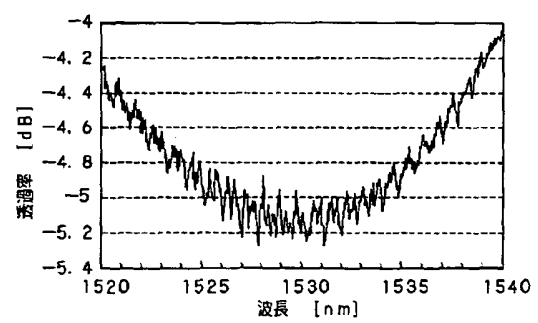
【図21】



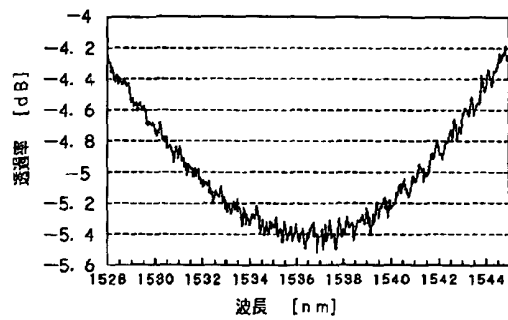
【図22】



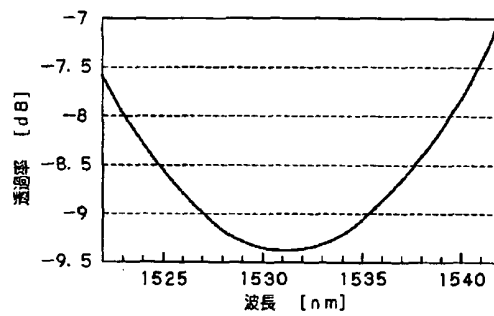
【図23】



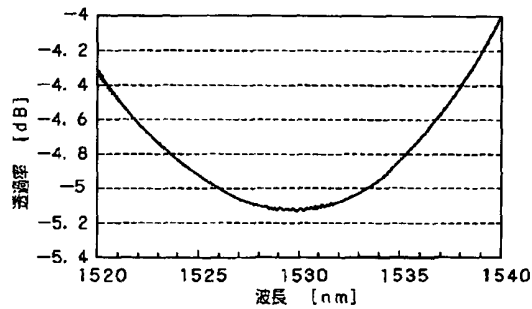
【図24】



【図25】



【図26】



フロントページの続き

(72)発明者 奥出 聡
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉事業所内
(72)発明者 西出 研二
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 和田 朗
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉事業所内
Fターム(参考) 2H050 AB05Z AC82 AC84 AD00
BA32 BB04S BB05Q BB05S
BB07S BC03 BD00 BD05